Accepted in eSIM 2014 Conference Proceedings (Ottawa, ON, Canada, May 8-9, 2014)

Simulation du confort thermique intérieur pour l'orientation d'un bâtiment collectif à Biskra, Algérie.

Belkacem Berghout[1], Daniel Forgues[1] et Danielle Monfet[1]
[1] École de technologie supérieure, Montréal, Québec

Résumé

L'Algérie fait face à des contraintes climatiques énormes. Quatre cinquièmes du territoire national a un climat chaud et sec, d'où l'importance de l'aspect climatique dans le choix d'une stratégie d'économie d'énergie. L'intégration à grande échelle de cet aspect semble ignorée par les concepteurs.

L'objectif de cette recherche est d'évaluer l'impact de l'orientation d'un bâtiment sur le confort de l'occupant, en vue de répondre à ses besoins énergétiques et de confort à un moindre coût d'une part et d'autre part, de concevoir des bâtiments collectifs plus performants du point de vue thermique et énergétique.

La méthodologie proposée permet d'examiner la performance énergétique d'un bâtiment collectif sous les conditions climatiques de la ville de Biskra dans le but de maîtriser naturellement le confort d'été et d'hiver en plus de réduire considérablement les dépenses en climatisation et en chauffage. La recherche porte particulièrement sur l'influence de l'orientation des façades d'un bâtiment par rapport aux rayonnements solaires et au vent et sur la réduction des besoins en énergie de climatisation et chauffage.

Enfin, les simulations réalisées aboutissent à l'identification de l'orientation optimale qui démontre une réduction efficace des températures intérieures et une diminution des fortes fluctuations quotidiennes de ces dernières températures. Ainsi, le résultat induit une réduction des gains de chaleur impliquant une diminution de la consommation énergétique reliée à la climatisation et au chauffage tout en maintenant le confort des occupants.

1 Introduction

L'Algérie connaît une crise aiguë en matière d'habitat dont le confort thermique a souvent été négligé par les concepteurs. En quatre décennies d'indépendance, le souci de construire rapidement et en grande quantité a favorisé le modèle d'habitat collectif. Ce développement rapide au niveau résidentiel s'est fait sans considérer la question d'intégration climatique occasionnant une consommation importante d'énergie. Le secteur résidentiel a atteint une consommation de près de 6.5 millions de TEP (tonne équivalent pétrole) en 2001, soit 46 % de la consommation d'énergie nationale (Ministère de l'énergies et des mines, 2007).

Entre 2000 et 2007, l'intensité énergétique finale en Algérie a atteint 6TEP/MDA (TEP/Milliards de Dinars algériens), soit 0,411 TEP pour 1000 $ de PIB (produit intérieur brut national), équivalent à 135 milliards $ CDN et soit deux fois plus que dans les pays de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques). Ainsi, l'économie nationale consomme deux fois plus pour créer la même unité de valeur ajoutée, avec une intensité énergétique primaire de 3,82 TEP/MDA (Ministère de l'énergies et des mines, 2007).

Dans ce contexte, il est important de déterminer les facteurs influençant et leur impact sur la consommation énergétique des bâtiments collectifs pour un climat chaud et arides. Ceci nous emmène en fait à poser la problématique suivante: **Quels sont les impacts de l'orientation sur le confort thermique des occupants du bâtiment collectif en Algérie et sur l'énergie à consommer?**

Pour ce faire, l'outil de simulation Ecotect™ a été utilisé pour évaluer l'impact de l'orientation d'un bâtiment sur le confort et la consommation énergétique pour solutionner la problématique et faire face à ces nouveaux défis, concernant l'inadaptation climatique de ce bâtiment.

2 Enjeux de la simulation

Tel que mentionné par Ravéreau (2007), si l'architecture du nord doit être au maximum étanche à l'air et ouvert au soleil, l'architecture du sud doit être, au contraire, perméable à l'air et fermée au soleil. Plus on se dirige vers le nord, plus les saisons froides sont longues, plus on ouvre le bâti vers le soleil et la lumière tout en restant à l'intérieur. Au final, on reconstitue une atmosphère complètement contrôlée, on vit dans un véritable scaphandre. Au contraire, plus on descend vers le sud, plus on doit chercher les bienfaits climatiques à l'extérieur, s'il n'est pas trop pollué, d'où le prolongement des espaces fermés par des espaces ouverts, couverts ou non.

Les techniques passives, qui sont directement soumises aux variations du climat, peuvent induire des ambiances intérieures inconfortables et non contrôlées, alors que les systèmes actifs permettent un contrôle de l'ambiance qui peut être ajusté en tout temps (Alexandroff et Alexandroff,1982). Les techniques passives reposent essentiellement sur l'intégration du bâtiment à son milieu environnemental et passe par la suite à une architecture qui intègre les nouvelles technologies liées à la production, à la transformation et à la distribution des énergies permettant de tirer une grande partie ou la totalité de son chauffage à partir du soleil.

L'importance de la prise en compte des particularités du site dans la qualité du confort interne d'un projet a un effet déterminant dans sa capacité à approcher le confort naturellement à moindre coût (Fernandez and Lavigne, 2009). De plus, l'orientation est fondamentale et doit être choisie en fonction des informations climatiques régionales (Bernard, 2004).

Le climat magrébin est tel qu'il suscite des besoins de chauffage l'hiver et de refroidissement l'été avec des températures de conception de chauffage près du point de congélation et des températures estivales de 35°C. La modération même du climat permet de satisfaire la quasi-totalité des besoins de manière naturelle, particulièrement dans le secteur résidentiel (Aghrab, 2000).

De nouveaux outils de modélisation voient le jour dans les cabinets d'architecture qui permettent d'évaluer les impacts des conditions bioclimatiques sur le confort et la consommation énergétique des bâtiments résidentiels. Ces logiciels permettent de programmer les futurs composants de base d'un logement (matériaux, vitrage, revêtements…) et d'en esquisser un plan en 3D, prenant en compte le terrain local (lieu, orientation). Par exemple, l'outil de simulation conçu il y a dix ans environ à l'école des mines permet d'évaluer, avant même la construction, les consommations d'énergie et les températures obtenues dans un logement en tenant compte de son architecture et de son emplacement (Valin, Hancok et Testard-Vaillant, 2007).

Cependant, l'enceinte habitable dépend du climat et des matériaux de construction. La qualité du bâtiment construit est aussi influencée par le choix du concepteur. Il arrive souvent qu'un concepteur propose un plan de masse qui se trouve répété à travers les cités algériennes sans considération par rapport à l'impact de l'implantation, de l'orientation et de l'apport d'air frais requis sur le maintien d'ambiances thermiques confortables. Tel que mentionné par Gi-

voni (1978), le choix d'une orientation est soumis à de nombreuses considérations, cependant la position de la façade par rapport au soleil et au vent affecte l'ambiance intérieur. Confronté à ce problème, l'occupant aura recours à des moyens mécaniques résultants en des consommations énergétiques exagérées.

3 Méthodologie

La Figure 1 synthétise les différentes étapes de la méthodologie adoptée. Comme première étape, une analyse bioclimatique approfondie basée sur les psychomètres et abaques classiques est complétée afin d'évaluer la réponse thermique des espaces étudiés. Cette étape est complétée par l'évaluation des impacts de l'analyse bioclimatique sur le confort thermique perçu par les occupants.

Dans la deuxième partie, des échantillons de bâtiments situés sur un même site et présentant la même conception architecturale, mais différant dans leurs implantations ainsi que dans l'orientation de leurs façades ont été utilisés pour analyser la performance thermique.

Une approche comparative est adoptée afin d'analyser les résultats. Des données mesurées ont permis le traitement des informations obtenues et la validation des résultats de l'expérience comparative entre les différents scénarios.

Pour finaliser l'analyse, le logiciel, Ecotect™a été utilisé pour valider les conclusions formulées à la suite de l'analyse des données mesurées. De plus, l'utilisation du logiciel a permis d'évaluer l'impact de différents paramètres sur le confort thermique: ces paramètres incluent la variation de l'orientation par rapport au soleil et au vent.

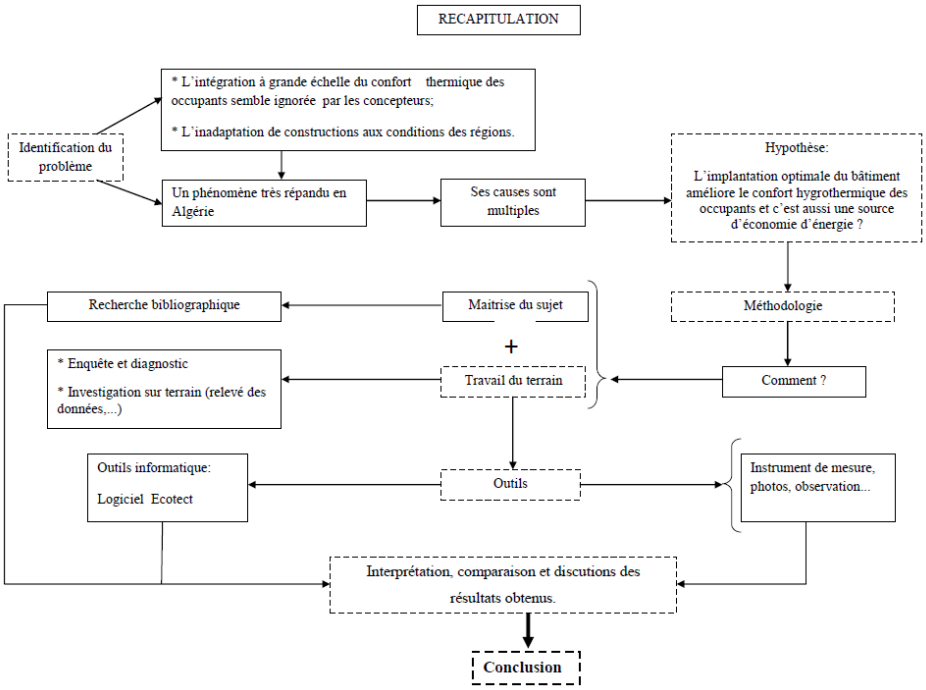

Figure 1:Étapes de la méthodologie de recherche

4 Étude de cas

La ville de BISKRA, en Algérie, est choisie pour sa représentativité des milieux semi-arides retrouvés au sud du pays. Elle se caractérise par un climat chaud et sec défavorable à l'atteinte d'un confort thermique pendant l'été. Le choix de Biskra comme un cas d'étude permet de mesurer la perception du confort dans les bâtiments collectifs. Les bâtiments collectifs de cette ville présentent un cadre bâti marqué par une orientation arbitraire, dispersée et éclatée,

qui ne considère ni les quantités d'énergies à consommer, ni le confort thermique à l'intérieur de ces bâtiments collectifs, ni l'usage de matériaux non adaptés aux exigences climatiques. La mauvaise conception de ces bâtiments augmente les déperditions entrainant des besoins en climatisation et en chauffage plus important.

Caractéristiques climatiques de la ville de Biskra

BISKRA se situe au sud-est de l'Algérie, à une latitude de 34° 48' Nord et une longitude de 5° 44' Est. Elle s'élève à une altitude de 81 m. Les fortes chaleurs présentent une grande partie de l'année varient de 26.5°C à 44°C et une grande partie de la consommation énergétique est consacrée aux seules fins de la climatisation. Toutefois, il n'en demeure pas moins que les besoins de chauffage en hiver, malgré qu'ils soient faibles, restent bien réels.

L'analyse bioclimatique de la ville dans sa globalité présente des spécificités qui ont été évaluées à l'aide de différentes méthodes (Figure 2). Cette analyse basée sur l'application des diagrammes thermo-isopléthes et psychrométriques de Szokolay (1979) et les tableaux de Mahoney (1979) a permis de définir la zone de confort de la ville objet de l'étude et de déterminer les stratégies à adopter pour répondre aux problèmes d'inconfort thermique. De ce fait, l'application des stratégies passives pour arriver à un confort recherché est indispensable pour parvenir aux conditions de confort à l'intérieur du bâtiment, surtout durant les mois de juillet et août qui sont les plus chauds de l'année. Avec une architecture appropriée qui prendrait en considération les données précédemment citées, il serait possible d'améliorer le confort de l'occupant et d'arriver à un gain d'énergie considérable en s'appuyant sur des procédés purement architecturaux et en ayant recours d'une façon raisonnable aux moyens actifs.

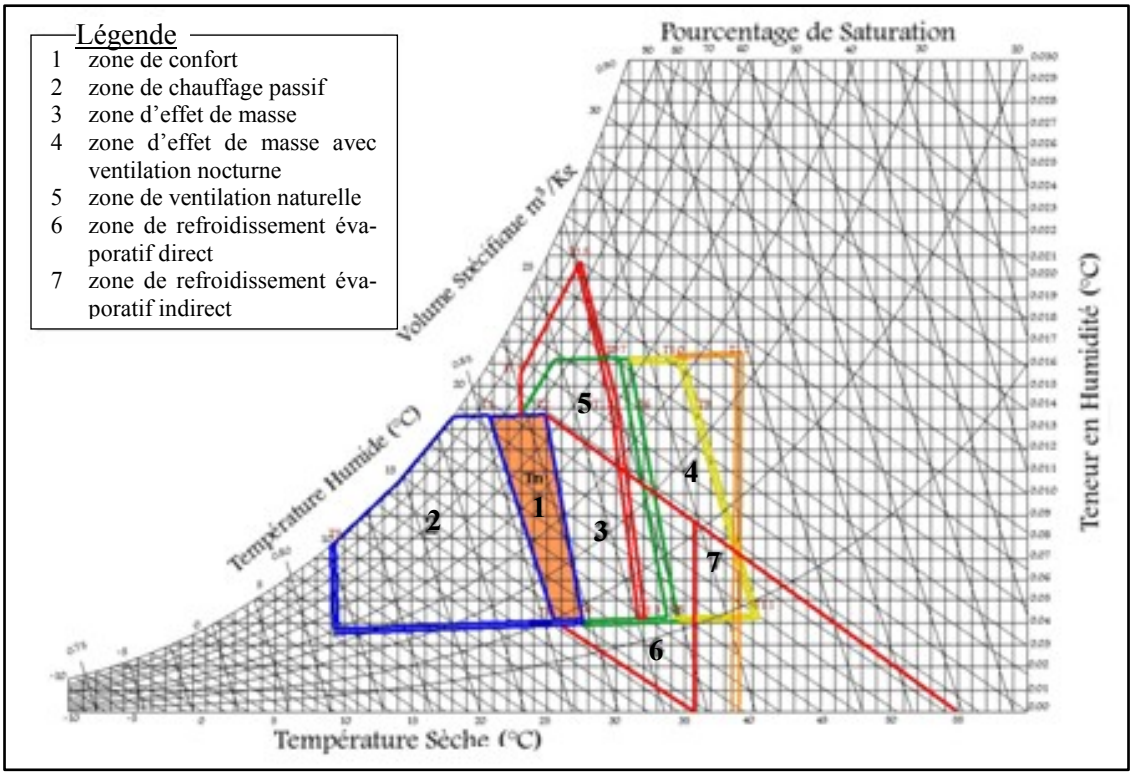

Figure 2: Diagramme psychrométrique de Biskra

Les résultats de l'analyse bioclimatique de la ville de Biskra illustrés dans la Figure 2ont permis de relever que l'optimisation des dispositifs architecturaux passifs tels que de simples dispositifs de ventilation constituaient un moyen efficient pour améliorer l'efficacité énergétique et permettaient d'accroitre le confort des occupants de l'habitat collectif de Biskra.

Cette réalité invite à réfléchir à la conception de ce dernier en relation avec le confort de l'occupant et la consommation d'énergie, dans le but d'une intervention pour améliorer l'espace vécu par l'être humain.

Présentation du logement d'étude

La Figure 3 présente un aménagement collectif, où trois bâtiments ayant la même conception architecturale sont utilisés pour l'étude de cas. Les mesures effectuées dans ces bâtiments se sont déroulées pendant la période estivale, plus précisément le 5 juillet 2011. L'espace objet de l'expérimentation est le séjour.

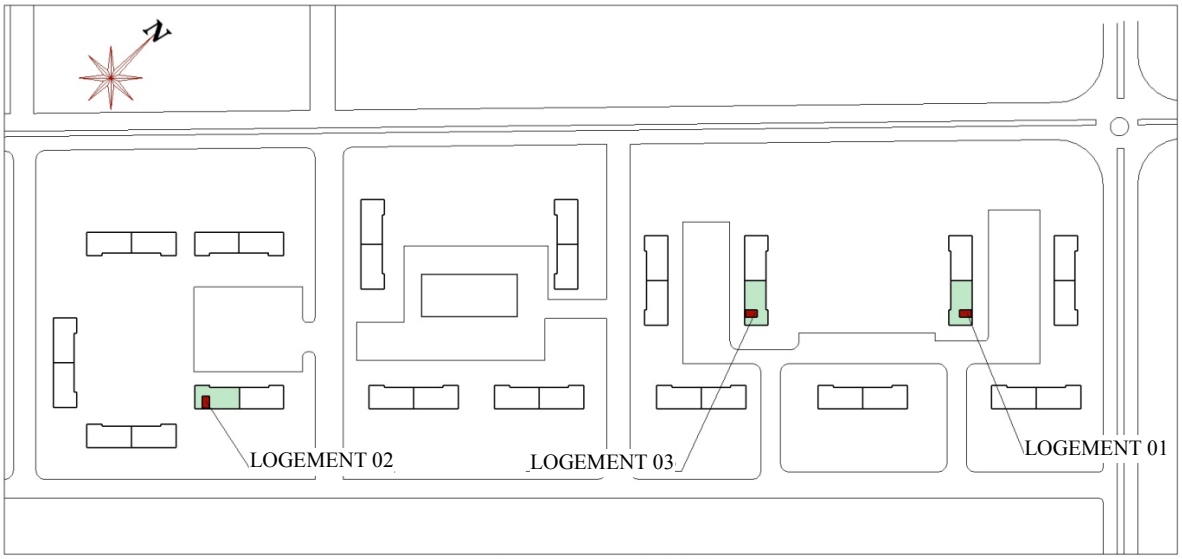

Figure 3: Plan de masse du site objet de l'étude

Le système constructif est préfabriqué : une structure porteuse par refend porteur et dalle pleine. Les dimensions des séjours sont : 5.25 m × 3.20 m avec une hauteur sous plafond de 2.98 m. La taille de l'ouverture du séjour (espace objet de l'étude de cas), est en menuiserie de bois avec un vitrage simple de 3 mm de 1.20 m × 1.20 m. La distribution spatiale du logement est représentée par la Figure 4.

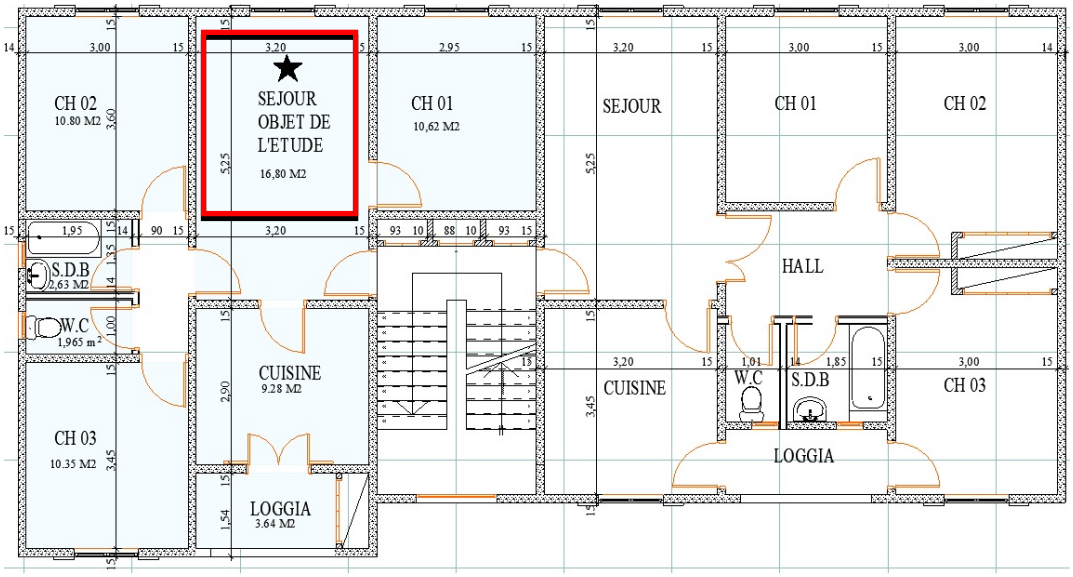

Figure 4: Bâtiment objet de l'étude.

5 Résultats et discussion

Les résultats reliés à la collecte de données mesurées dans les trois bâtiments de l'étude de cas ainsi que ceux obtenus à l'aide deAutodesk® Ecotect™ Analysis, un outil complet de conception, sont présentés et discutés afin d'identifier les paramètres optimaux pour améliorer les conditions du confort et ainsi définir les stratégies à adopter pour tels types de bâtiments collectifs de la ville de Biskra. Ce dernier logiciel permet une modélisation des différentes zones thermiques avec une analyse modale pour chacune des zones. Les zones sont ensuite couplées.

Analyse des données mesurées

Le confort thermique à l'intérieur des séjours a été évalué en comparant les températures intérieures mesurées des différentes orientations avec les limites de la plage de la zone de confort tel illustrées à la Figure 5, notamment celles des températures qui est de: 25 ± 3°C pour la ville de Biskra d'après Humphrey et Capderou (Capderou,1985).

Il est noté que les trois espaces objet de l'étude occulte leurs fenêtres à l'aide des rideaux par manque de persiennes. Aussi, ces derniers espaces ne sont pas climatisés pendant la période de déroulement des mesures.

La Figure 5 illustre les impacts sur le confort de l'usager en lien avec l'orientation des façades du bâtiment :

- Cas du Nord-Est : la température moyenne intérieure du séjour reste inférieure à la température moyenne extérieure. La courbe de ses valeurs se situe à l'extérieur de la zone de confort. Elle reste supérieure à la limite supérieure de confort, de 10 heures jusqu'à 23 heures, avec un écart maximal de 1,9°C à 18 heures et un écart minimal de 0,1°C à 9 heures. Mais elle reste au-dessus de la limite inférieure du confort pour laquelle elle présente un écart maximal de 6,1°C à 24 heures. Par conséquent, elle est très proche de la limite supérieure de confort, ce qui fait de cet espace un espace confortable, surtout dans la matinée, ceci étant dû à l'absence de radiations intenses pour cette orientation.
- Cas du Sud-Est : la courbe de la température moyenne intérieure du séjour reste au-dessus des limites de confort durant les 24 heures, marquant un écart maximal de 2,8°C à 18 heures et un écart minimal de 0,8°C à 10 heures, pour la limite supérieure de la zone de confort. La courbe de ces températures s'approche plus de la limite supérieure de confort de 23 heures jusqu'à 10 heures avec un écart maximum de 0,8°C à 10 heures et un écart minimum de 0,1°C à 7 heures. L'espace est donc jugé inconfortable le jour et acceptable la nuit.
- Cas du Sud-Ouest : la température intérieure du séjour présente, avec la limite supérieure de confort, un écart maximal de 3,1°C à 19 heures, ce qui justifie l'inconfort à l'intérieur de l'espace l'après-midi par la chaleur transmise par la combinaison des hautes températures enregistrées à ce moment et l'incidence des rayons solaires sur la façade orientée vers l'ouest, ce qui explique l'utilisation de la climatisation à ce moment. Entre minuit et 10 heures, la température se situe dans la zone de confort avec un écart maximal de 1°C à 3 heures. Cette orientation a enregistré une température maximale et minimale presque toujours supérieure aux maximums et minimums de la température ambiante, comparée à d'autres orientations. Ainsi, de grands écarts sont mesurés entre la température maximale et minimale du séjour pour une journée donnée.

Suite à l'analyse des résultats, il est possible d'avancer que le séjour orienté Nord-Est reste le plus confortable pendant cette période d'été. L'orientation Sud-Ouest reste la plus inconfortable et à éviter durant cette période.

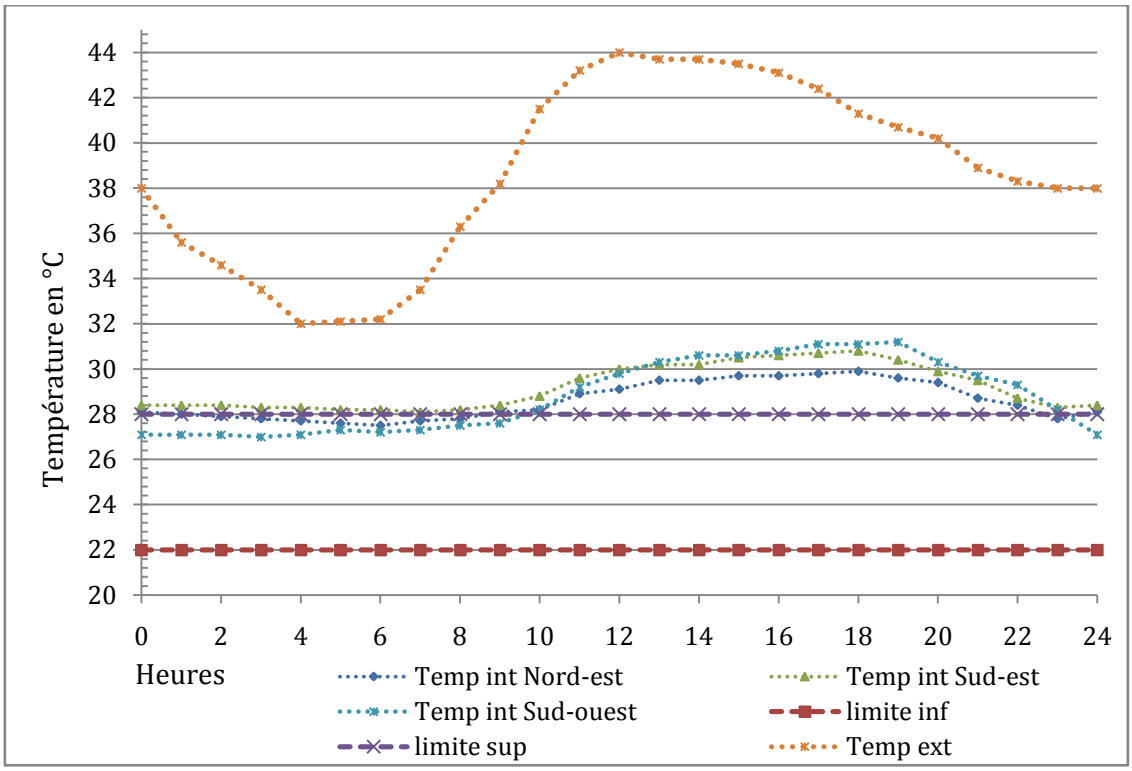

Figure 5:Comparaison des températures intérieures et extérieures des trois orientations avec les limites de confort

Dans le but de valider les résultats et afin de déterminer l'orientation la plus favorable durant les deux périodes estivales et hivernales, une simulation à l'aide du programme informatique Ecotect™ a été faite, afin d'évaluer la performance thermique des séjours étudiés, ainsi que la possibilité d'améliorer leur performance suivant les différents angles d'orientation.

Résultats et analyse des données simulées

Les résultats et analyses des données simulées sont limités à :

- l'évaluation de la température de l'ambiance intérieure de la zone d'études;
- l'impact de l'orientation du bâtiment sur la température de l'ambiance intérieure;
- les quantités de radiations solaires totales absorbées suivant de multiples orientations pour la période estivale;
- les quantités de radiations solaires totales absorbées suivant de multiples orientations pour la période hivernale;
- l'évaluation des besoins de climatisation pour la période estivale;
- l'évaluation des besoins de chauffage pour la période hivernale.

Afin de déterminer l'orientation optimale, une évaluation des différentes orientations a été effectuée en pivotant l'axe de l'orientation suivant un angle de 15° à partir du Nord. Un bilan thermique de la pièce permet la comparaison des résultats simulés. Ainsi, toute chaleur qui entre ou sort du séjour doit être compensée par la même quantité d'énergie de climatisation et de chauffage. De cette façon, il est possible d'obtenir la quantité d'énergie nécessaire pour les besoins en climatisation et en chauffage des différentes orientations pour maintenir une température stable à l'intérieur du séjour dans les limites de la zone de confort.

Comparaison des trois orientations

Les résultats de la simulation pour les trois orientations sont illustrés sur les Figures 6 et 7. Les courbes des différentes orientations relatives aux quantités d'énergie totale absorbées (diffus, direct et réfléchi) par les parois se rapprochent la nuit, en été de 22 heures à 5 heures du matin et en hiver, de 17 heures à 7 heures du matin; cela est dû à l'absence des apports solaires. Pendant le jour, la quantité d'énergie absorbée ou reçue par la paroi varie en fonction de l'augmentation ou de diminution de la température intérieure suivant l'orientation.

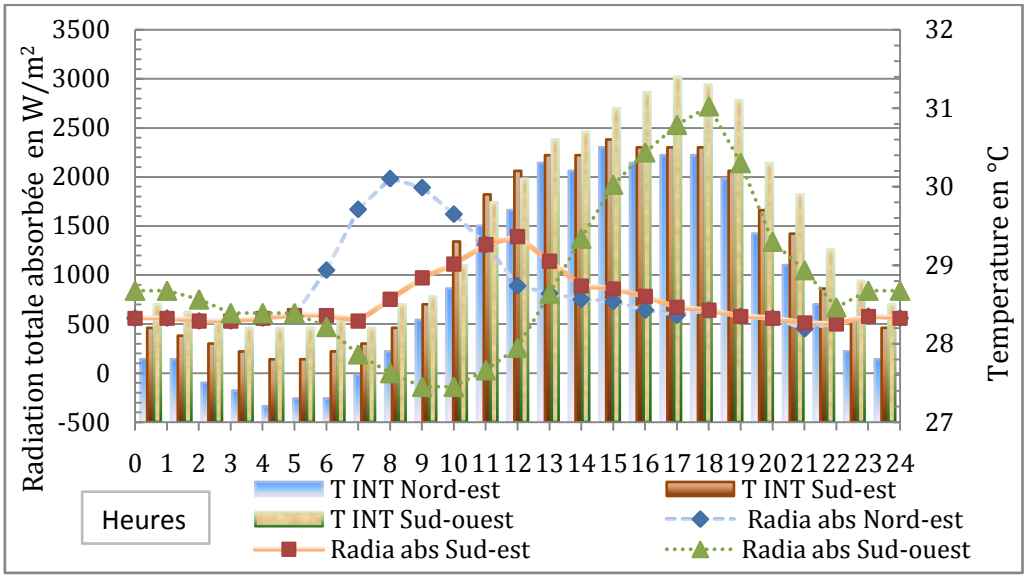

Figure 6:Comparaison des températures internes des trois orientations et quantité d'énergie totale absorbée pendant la période estivale

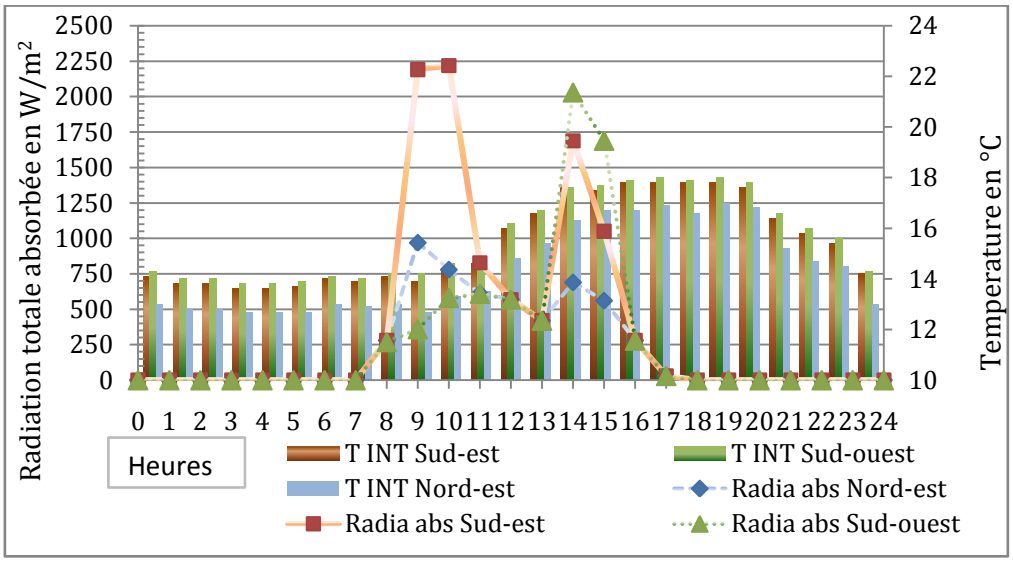

Figure 7:Comparaison des températures internes des trois orientations et quantité d'énergie totale absorbée pendant la période hivernale

Il est à noter que les températures les plus élevées sont enregistrées en été, surtout pour l'orientation Sud-Ouest qui absorbe des quantités de chaleur l'après-midi et qui participe à cette augmentation après restitution vers l'intérieur. Contrairement à la paroi Sud-Est, en été cette dernière paroi absorbe une quantité de chaleur moins importante, en hiver la paroi reçoit des quantités d'énergie plus importantes que les autres orientations.

Effet de l'orientation

L'analyse des résultats présentés sur les Figures 8 et 9 illustre l'effet de l'orientation de la paroi extérieure sur les ambiances intérieures durant la période estivale et hivernale, respectivement. L'influence de la prise en compte du changement d'orientation, qui est surtout perceptible dans le cas des orientations semi-cardinales Sud-Est, Nord-Est et Sud-Ouest, est plus importante. Par exemple, alors que l'orientation Nord a permis un abaissement de la température de 0,5°C par rapport à l'orientation Sud, l'écart entre la mauvaise orientation et la meilleure est de 2°C, tel qu'illustré sur la Figure 8.

D'autre part, les orientations Nord et Sud pour la période d'été sont considérées, à priori, les plus favorables, contrairement aux orientations Ouest et Est qui sont à éviter, vu les hausses des températures enregistrées durant vingt-quatre heures.

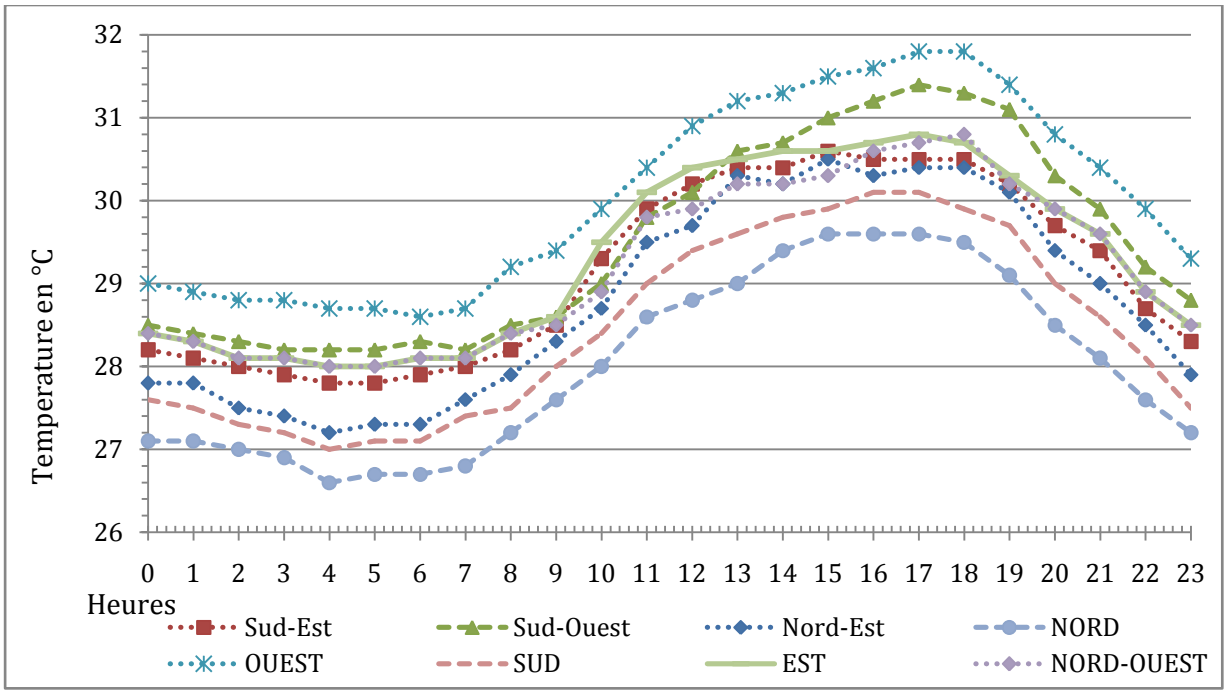

Figure 8:Comparaison des températures intérieures simulées des différentes orientations pour la période d'été

La Figure 9 permet de constater que durant la période d'hiver, l'impact de l'orientation reste perceptible surtout pour les orientations semi-cardinales. L'orientation Sud-Est considérée, à priori, la plus favorable enregistre les températures les plus élevées. Cela s'explique par le fait que de fortes quantités d'énergie sont absorbées par la paroi et la fenêtre. Quant aux orientations Sud-Est et Sud-Ouest, elles sont moins favorables que l'orientation Sud, les températures étant inférieures à celles du Sud à cause de la course du soleil. Donc, elles sont moins exposées. Cependant, les orientations Nord, Nord-Est et Nord-Ouest sont à éviter durant cette période vue les basses températures qui influent sur le degré de confort intérieur.

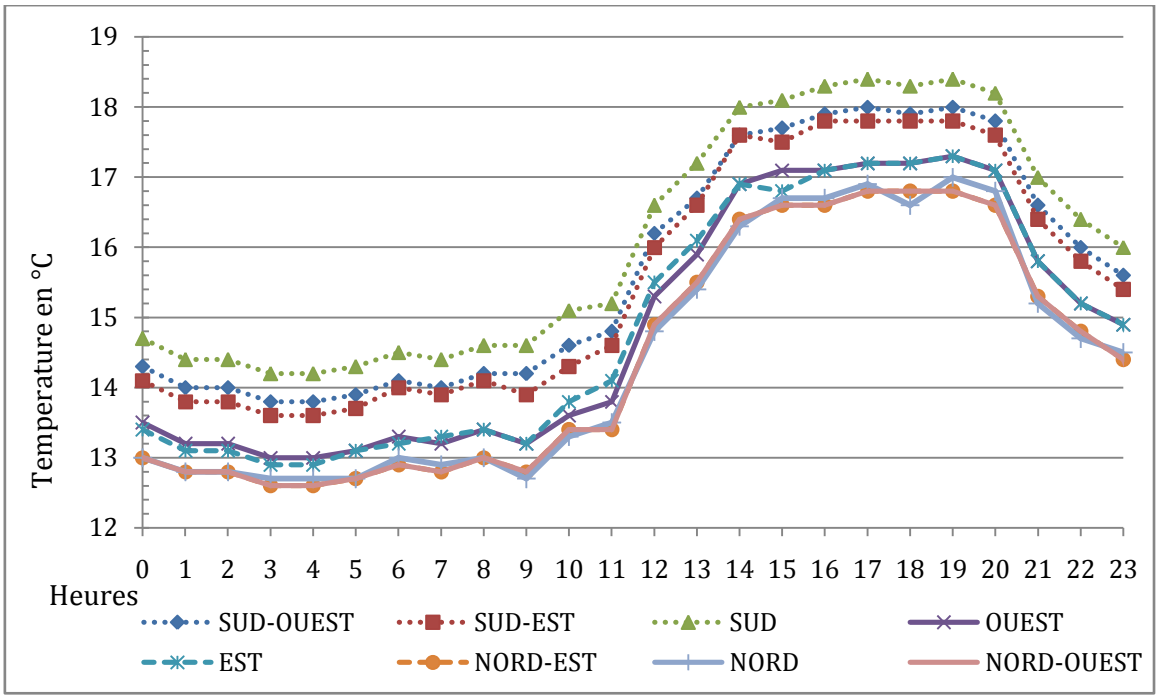

Figure 9:Comparaison des températures intérieures simulées des différentes orientations pendant la période d'hiver

Les résultats des simulations, représentés graphiquement, illustrent qu'il est possible de connaître l'influence de l'orientation et traduisent l'amélioration sensible des conditions de confort obtenu, à savoir la diminution des températures aux heures chaudes, ce qui apparaît nettement sur les courbes des Figures 8 et 9.

L'orientation optimale

La Figure 10 permet de constater les radiations solaires absorbées par une paroi pour différentes orientations, où les orientations du 165° Est au 195° Ouest bénéficient des apports énergétiques les moins importants en été après le plein Nord. Contrairement aux orientations Est et Ouest, qui elles présentent les apports solaires les plus importants.

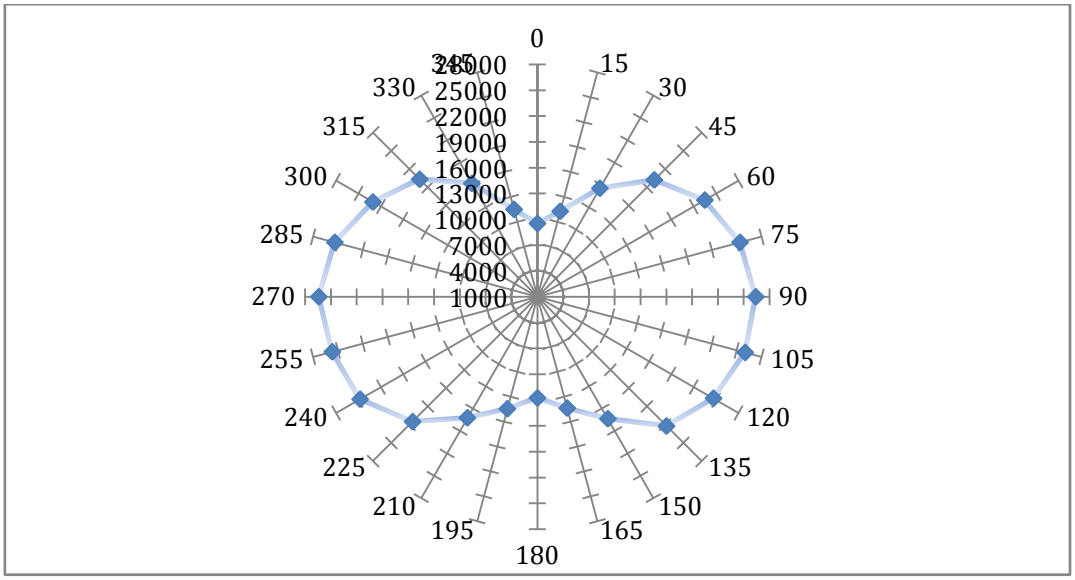

Figure 10:Total des radiations solaires absorbées en W/m^2 suivant l'orientation par le mur extérieur pendant la période estivale

La Figure 11 illustre les radiations solaires pour des journées moyennement éclairées (ciel à dégagement moyen) absorbées par la paroi pour différentes orientations, où les orientations du 150° Est au 195° Ouest bénéficient des apports énergétiques les plus importants.

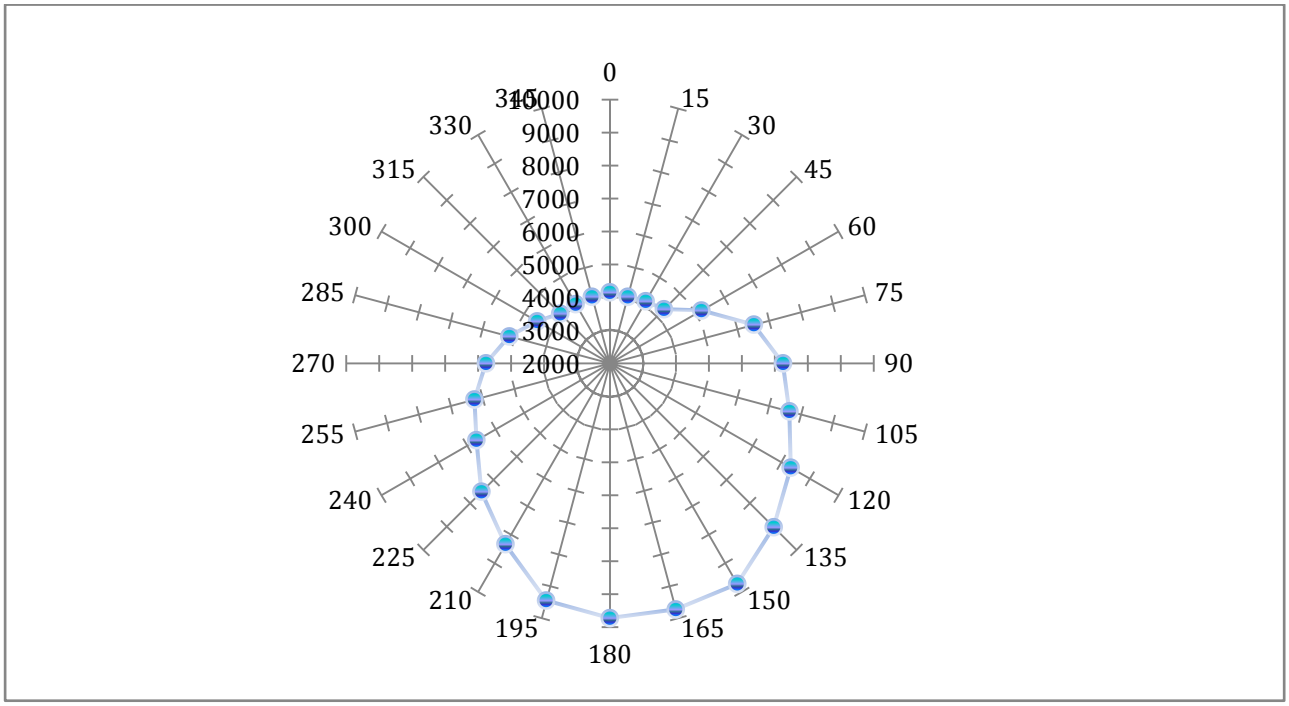

Figure 11:Total des radiations solaires absorbées en W/m^2 suivant l'orientation par le mur extérieur pendant la période hivernale

De ce fait, l'orientation optimale est celle qui s'adapte au climat local. Elle permet de profiter ou limiter les apports solaires afin de réduire les besoins en chauffage et en climatisation.

Besoins en énergie pour la climatisation suivant l'orientation

Afin de compléter l'analyse et de répondre à l'objectif principal de cette recherche, les bâtiments de l'étude de cas sont simulés pour le maintien d'une température constante du séjour, à l'intérieur de la zone de confort, afin d'assurer le confort des usagers. La quantité d'énergie nécessaire, qui est le besoin en climatisation et en chauffage pour garder la température stable à l'intérieur du séjour, est estimée en évaluant la quantité de chaleur qui entre ou sort du séjour.

La période estivale est caractérisée par les plus hautes températures et l'ensoleillement maximal. Contrairement à la période hivernale, qui elle est caractérisée par des températures légèrement plus basses et des heures d'ensoleillement plus courtes.

La Figure 12 illustre que les besoins énergétiques pour la climatisation sont fonction de l'orientation et que, durant la période estivale, la consommation d'électricité est plus élevée, surtout pour les orientations Est et Ouest qui sont à éviter. Contrairement aux orientations Sud, Nord, ainsi que les orientations du 165° Est au 195° Ouest, qui présentent une consommation très réduite par rapport à d'autres orientations. La consommation énergétique pour la climatisation est appréciable, surtout pour les orientations Ouest, pour lesquelles elle est plus élevée que pour celle de l'Est, ce qui explique, par les mêmes raisons, la coïncidence des taux de radiations solaires absorbées avec les hautes températures. Ce qui fait que les orientations Ouest sont à éviter durant la période d'été.

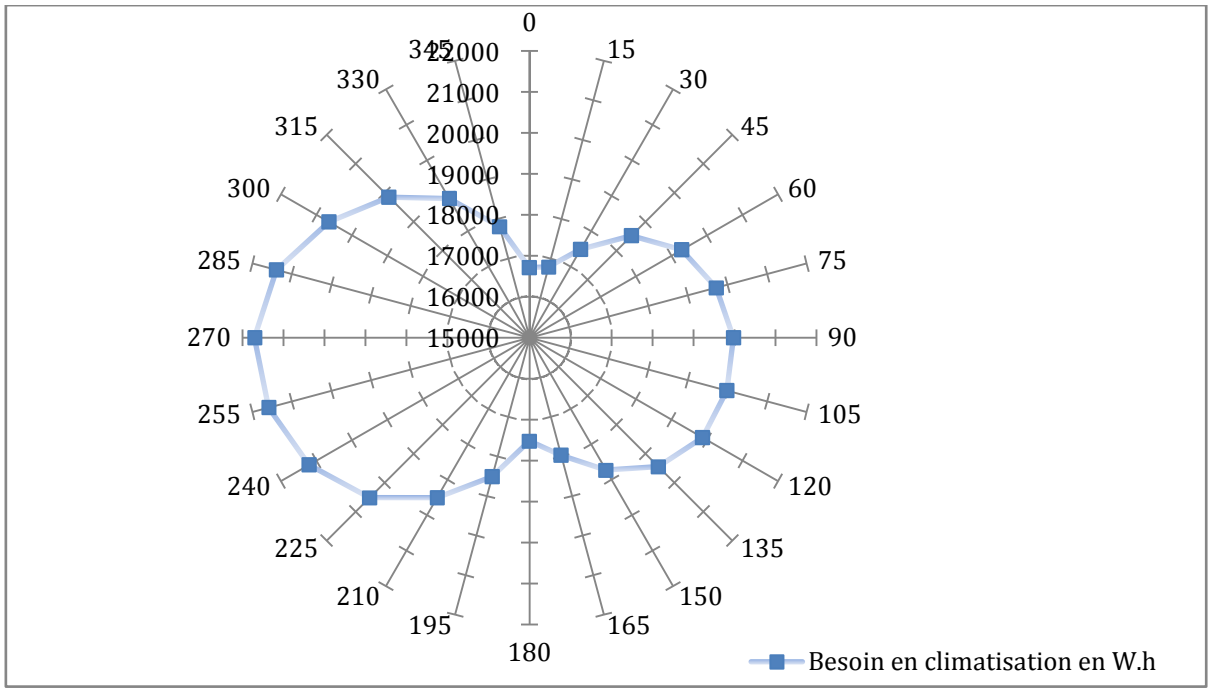

Figure 12:Besoin en climatisation suivant l'orientation pour une journée en période estivale

Besoins en énergie pour le chauffage suivant l'orientation

La Figure 13 illustre que les besoins énergétiques pour le chauffage sont fonction de l'orientation et que durant la période hivernale, la consommation de gaz est plus élevée, surtout pour les orientations Nord qui sont à éviter, contrairement à l'orientation Sud et les orientations du 150° Est au 195° Ouest qui présentent une consommation très réduite par rapport à d'autres orientations. Pour cela, on peut déduire que durant la période hivernale, la meilleure orientation est celle qui consomme peu d'énergie et se concrétise par l'orientation Sud.

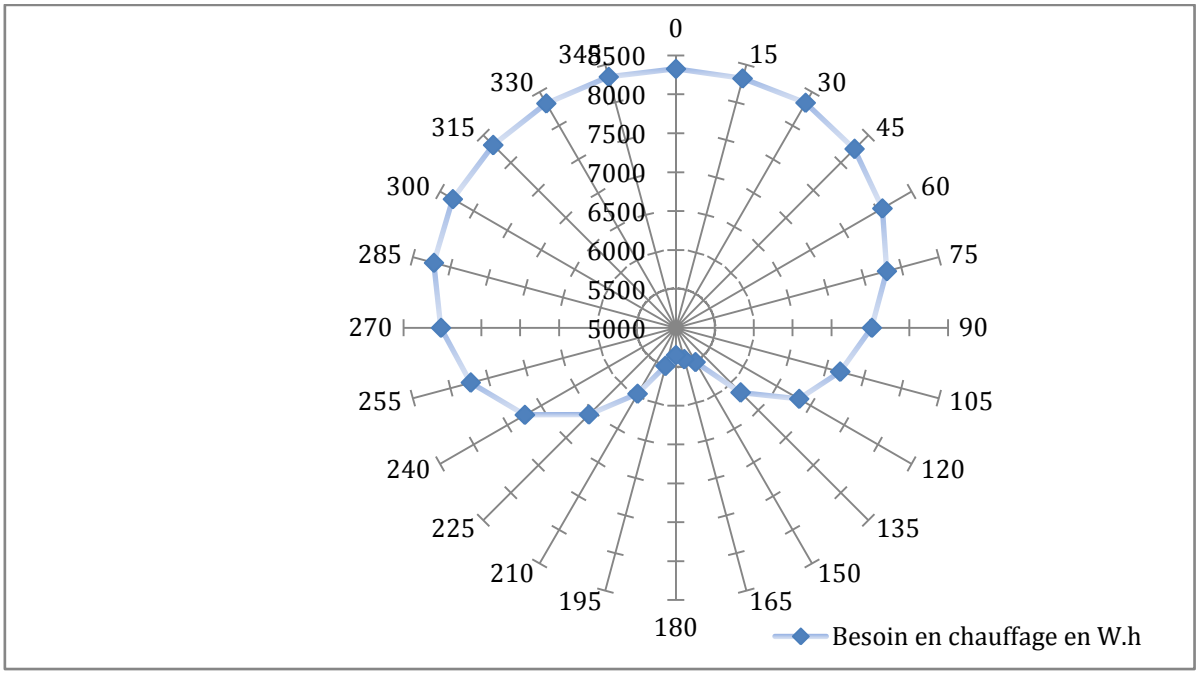

Figure 13:Besoin en chauffage suivant l'orientation pour une journée en période hivernale

Cet exercice permet de valider les causes de la variation de la température intérieure des séjours étudiés, qui est largement influencée par la puissance incidente solaire et les flux de chaleur qui pénètrent l'enveloppe opaque ou transparente d'un bâtiment.

Ainsi, basée sur les résultats de la simulation, l'orientation Sud a réduit la demande moyenne en énergie de chauffage du dixième par rapport à l'orientation Nord et du huitième par rapport aux orientations Ouest. Cela a permis de déterminer l'orientation optimale, qui est celle du Sud et celles obtenues en déviant l'axe de l'orientation à 15° Est et à 15° Ouest pour ce type de climat.

6 Conclusions

L'étude confirme que l'orientation des façades d'un bâtiment est une composante qui influence le confort thermique été comme hiver, ainsi que la consommation énergétique d'un bâtiment collectif. Pour atteindre cet objectif, une méthode expérimentale a été développée pour étudier la performance thermique d'un bâtiment collectif et vérifier l'impact réel du climat de la ville, objet de l'étude, sur ce dernier suivant les différents angles d'orientation. Cette étude a porté sur la période la plus défavorable de l'année, qui est le mois de juillet, sachant qu'il faut trois à quatre fois plus d'énergie pour rafraîchir des espaces que pour les chauffer.

Les résultats ont démontré combien la variation de la température intérieure de ces séjours est largement influencée par la puissante incidence solaire et par le degré d'exposition des parois opaques ou transparentes d'un bâtiment aux rayons solaires et ce, pour la période estivale. Tout cela dépend de l'effet de l'implantation du bâtiment et de l'orientation de ses façades. La performance énergétique (quantité de chaleur traversant la paroi) est donc directement reliée à cet élément.

Le recours à un outil informatique par le biais du logiciel Ecotect™, permet d'améliorer les températures intérieures suivant l'orientation des façades du bâtiment, ainsi que, l'efficacité énergétique. Aussi, ce dernier outil informatique démontre la pertinence, l'efficacité et l'utilité des études de cas, en plus de leur simplicité de mise en œuvre pour des conceptions bioclimatiques.

La comparaison des résultats pour les différentes orientations des façades correspondantes avec les limites de la plage de la zone de confort, notamment celles des températures de la ville de Biskra dont la température neutre varie de 22°C à 28°C et l'humidité relative varie de 19 % à 65 %, démontre que les températures de confort ne sont pas atteintes. Ces dernières dépendent de nombreux critères dont : l'orientation de la façade, le contrôle de l'ensoleillement, la couleur externe de la façade et l'intégration de dispositifs bioclimatiques. Ce couplage permet même de réduire les besoins énergétiques d'un bâtiment en climatisation et en chauffage, ainsi que les fluctuations quotidiennes maximales enregistrées et assure une bonne distribution de la chaleur dans les espaces en toute saison.

Enfin, ces résultats ont démontré la relation qui lie la quantité d'énergie absorbée par la paroi à la température intérieure, qui dépend étroitement de l'orientation. Selon l'analyse effectuée, l'orientation favorable au control du confort thermique et à la diminution de la demande énergétique est le Sud pour ce type de climat. Par contre, l'orientation Nord est à éviter. Quant aux orientations Est et Ouest, le déficit se situe à 45 %, ce qui est du même ordre de grandeur que les résultats de Givoni (1978).

7 Références

Aghrab, N., 2000. *Le climat*, Paris, France: In conférence, IBPSA 2000.

Alexandroff, G. & Alexandroff, J-M., 1982. *Architectures et climats soleil et Énergies naturelles dans l'habitat*, Paris, France: Berger-Levrault, ISBN 2701304644.

Autodesk® Ecotect™ Analysis, 2011. Autodesk Ecotect Analysis Support Forum. Available at: http://www.ecotec.com/publication [Accessed Février 20, 2011].

Bernard, J., 2004. Énergie solaire *; calculs et optimisation,* Paris, France: Ellipses Édition Marketing, ISBN 2 7298 1897 9.

Capderou, M., 1986. A*tlas solaire de l'Algérie Aspect Géométrique Synthèse Géographique,* Alger, Algérie: OPU Alger, ISBN AFRI 551.5271.C236a V.3 pt.1.

Fernandez, P. & Lavigne, P., 2009. *Concevoir des bâtiments bioclimatiques : fondements &*méthodes, Paris, France: Moniteur, ISBN 9782281114546.

Givoni, B., 1978. *L'homme, l'architecture et le climat*, Paris, France: Editions du Moniteur, ISBN 2862820148 Br.

Ministère de l'énergie et des mines, 2007. Consommation énergétique de l'Algérie. Available at: http://www.aprue.org.dz/publication [Accessed Février 28, 2011].

Ravéreau, A., 2007. *Du local à l'universel*, Paris, France: Édition du Linteau, ISBN9782910342463.

Valin, M., Hancok, C., &Testard-Vaillant, Ph., 2007. *La maison XXIe siècle. 2, Construire,* Science et vie, hors série. Paris, France.